Künstlicher Metabolit

von

Friedrich Berwerth.

(Mit 1 Tafel.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 25. Mai 1905.)

Durch den Vergleich des Gefüges in der durch Erhitzung in der Erdatmosphäre erworbenen randlichen Veränderungszone der Meteoreisen mit dem Gefüge in dichten und körnigen Meteoreisen wurde ich zu der Ansicht geführt, daß die große Gruppe der kristallinisch-körnigen Meteoreisen infolge von Erhitzung im festen Zustande umkristallisierte oktaedrische Eisen sind. An einer großen Zahl von solchen Eisen habe ich dann die Umbildung dieser fein- und grobkörnigen Massen aus oktaedrischen Eisen verfolgen und in vielen Fällen mit Ausschluß jeder Täuschung beobachten können. (Anzeiger der Akademie der Wissenschaften Nr. 13, p. 182, 1904.)

Wenn die molekulare Umlagerung der oktaedrischen Eisen zu körnigen Massen, wie angenommen wurde, auf einer außerhalb unserer Atmosphäre stattgefundenen Erhitzung beruht, so war zu erwarten, daß mittels künstlicher Erhitzung irgend eines unveränderten oktaedrischen Eisens ein ähnlicher Zustand des Eisens erzielt werden muß, wie er an vielen durchwegs umgewandelten Eisen oder nur partiell davon betroffenen Kamacitbalken mit Erhaltung des Taenites vorhanden ist.

Um diese Voraussetzung auf ihre Richtigkeit zu prüfen und die Tatsache der Zustandsänderung der oktaedrischen Eisen durch Erhitzung experimentell festzustellen, wählte ich für einen solchen Versuch eine kleine Platte des leicht zugänglichen Tolucaeisens. Die 16 cm^2 große Probeplatte ist normal

ausgebildet. Sie besteht aus meist kurzen bauchig und buchtig gewachsenen, selten 1·5 *cm* Länge erreichenden und 3 *mm* dicken Kamacitbalken. Nachbarlamellen eines Balkensystems zeigen wiederholt Zwillingslagerung. Auf den Ätzflächen der Balken kommen die Neumann'schen Linien (Zwillingsstreifung) in großer Zahl und scharfen Streifen zum Vorschein. Der Taenit ist gut entwickelt, er liegt in dünnen Blechen zwischen den Kamacitbalken und reichlich im eutektischen Gemenge, dem Plessit, der je nach den Raumverhältnissen sehr verschieden geformte Lücken zwischen dem Kamacitnetz ausfüllt. Dann muß einer, in allen breiteren Taenitstreifen vorhandenen Schraffierung Erwähnung geschehen. Die Schraffierung ist äußerst fein und konnte ich vier Liniensysteme unterscheiden. Das in den verschiedenen Durchschnitten senkrecht oder schief auf die Blattseiten des Taenites gestellte Liniensystem ist immer vorherrschend, während die drei anderen Systeme untergeordnet auftreten oder oft ganz fehlen. Die Schraffierung im Taenit ist mit den Neumann'schen Linien im Kamacit zu vergleichen. Die matt und hell aufleuchtenden Liniensysteme sind im Taenit nur viel feiner und mit der Lupe kaum erkennbar. Es scheint, daß die Schraffierung des Taenites in Toluca nicht bekannt ist, da ich darüber keine Aufzeichnung vorfinde, so daß die Grundlage dieser Structur weiter verfolgt werden muß. Nach der Seite des Plessitgewebes zeigt der Taenit stets deutliche Übergänge, erkenntlich an der Abblassung des hohen Glanzes gegen das Plessitfeld. Vereinzelte größere Schreibersitkörner sind vorhanden, an die zuweilen zwei und mehr Kamacitbalken angesetzt sind. Als zuerst auskristallisierten Gemengteil hat ihn der Kamacit in Form kleiner kurzer Nadeln (Rhabdit) in großer Menge ohne Orientierung, ebenso der Taenit eingeschlossen. Seltener erscheint der Schreibersit auch als Zwischenmittel zwischen den Kamacitbalken, besonders dort, wo der Taenit ausgeblieben ist. Einer weiteren Erörterung bedarf nur die körnige Absonderung der Kamacitbalken. Da die Körnung des Kamacites nicht nur im Tolucaeisen vorkommt und vielmehr eine allgemeine Erscheinung darstellt, so will ich jene Eisen ebenfalls anführen, deren Kamacit abgekörnt ist, ohne für die Liste den Anspruch auf

Vollständigkeit zu erheben. Die gleiche Abkörnung wie im Tolucaeisen habe ich noch an folgenden Eisen beobachtet: Alt-Biela, Arva, Ashville, Baird's Farm, Barranca blanca, Beaconsfield, Bendegó, Billings, Bischtübe, Black Mountain, Bohumilitz, Brazos, Bridgewater, Canon Diablo, Casas Grandes, Chulafinnee, Cleveland, Coahuila, Cocke County, Copiapo, Costilla Peak, Cranbourne, Crow-Creek, Dellys, Descubridora, Duell Hill, Durango, El Capitan Range, Emmetsburg, Franceville, Frankfort, Glorietta Mountain, Guilford County, Hayden-Creek, Independence County, Ivanpah, Kenton County, Kokstad, Laurens County, Lexington County, Lockport, Lonaconing, Madoc, Merceditas, Mooranoppin, Mount-Hicks, Mount Joy, Mount Stirling, Mukerop, Mungindi, Nagy-Vázsony, Narraburra Creek, Nejed, Orange River, Oroville, Oscuro Mountains, Pan de Azucar, Petropawlowsk, Putnam County, Quesa, Red River, Reed City, Rhine Villa, Roebourne, Rosario, Ruffs Mountain, Saint Geneviéve County, San Angelo, São Juliao, Schwetz, Seneca, Smithville, Ssyromolotow, Staunton, Surprise Springs, Thunda, Toluca, Tonganoxie, Trenton, Victoria West, Welland, Whitfield County, Youndegin, Zacatecas.

Um die körnige Absonderung der Balken nicht zu übersehen, ist es nötig, eine tiefgehende Ätzung zu vermeiden.

Bei schwacher Ätzung erscheinen ohne Anwendung weiterer Vorsicht auf der Kamacitfläche gerade und bogig verlaufende zarte Linien, die sich untereinander schneiden, die Balken in Körner auflösen und auf der Schnittebene den Eindruck von Pflasterstruktur erzeugen (Bild 1). Das zarte Maschennetz im Kamacit ist mit der bekannten Zerklüftung des Olivines zu vergleichen. Da die Ränder der Körner von der Säure stärker angegriffen werden als die übrigen Teile, so werden die feinen Kluftlinien an der Oberfläche etwas geweitet und ihre Konturen gewinnen an Deutlichkeit. Es wäre gar nicht verfänglich, die Körnung der Kamacitbalken als eine ursprüngliche, bei der Kristallisation aus dem Magma zu stande gekommene Bildung anzusehen. Folgende Betrachtungen der Verhältnisse sind jedoch geeignet, dieser Auffassung zu widersprechen. Verfolgt man nämlich den Verlauf der Neumann'schen Ätzlinien, deren Vorhandensein uns den ursprünglich hexaedrischen

Kristallbau des Kamacites verbürgt, so kann man bemerken, daß der Verlauf der Ätzlinien durch die Klüfte nie gestört wird. Sämtliche Ätzlinien, die an Kluftflächen anstoßen, werden hier an der Kluft nur unterbrochen, um jenseits derselben ungestört fortzusetzen und eine Ablenkung oder Verwerfung einer Ätzlinie habe ich nie wahrnehmen können. Ein gleiches Verhalten wie bei den Ätzlinien läßt sich manchmal an Rhabditnädelchen machen, an denen der Kamacit sehr reich ist. Kommt ein feines Rhabditnädelchen nämlich quer auf den Spalt zu liegen, so geht der Spalt mitten durch das Rhabditnädelchen und trennt es in zwei Hälften, die jetzt, ohne eine Verschiebung an der Kluft erlitten zu haben, jede für sich in den zwei an einander stoßenden Körnern stecken. Diese Beobachtungen scheinen mir zu beweisen, daß der Kamacit seine Klüftung einem Vorgange verdankt, der sich erst viel später nach der Kristallisierung des Kamacites im festen Eisen geltend gemacht hat. Es wäre ganz gut möglich, daß Erwärmung des Eisens den ursprünglichen Spannungszustand im Kamacitkristalle aufgehoben und die eingetretene Abkühlung körnige Zerklüftung herbeigeführt habe. Außer bei Toluca, scheint auch bei vielen anderen Eisen das Auftreten von Metabolisierungsspuren diese Annahme zu unterstützen. Mit dem Ausdrucke Metabolisierung bezeichne ich die durch Erhitzung bewirkte Umkristallisierung des Meteoreisens im festen Zustande. Ließe sich zwischen dem Erscheinen des Kluftnetzes und den Spuren von Metabolisierung ein Abhängigkeitsverhältnis erkennen, daß nämlich niemals eine der Erscheinungen ohne die andere auftritt, so bestünde wohl kein Zweifel darüber, daß auch das Kluftnetz ebenso ein Folgezustand der Erhitzung des Eisens ist, wie dies für die Spuren der Metabolisierung feststeht. Die Entstehung des Kluftnetzes wäre dann ein Vorspiel des durch die Erhitzung eingeleiteten und die Abkühlung begrenzten Umwandlungsprozesses des Kamacites. Da nun in einer Minderzahl von Eisen der Kamacit Ansätze von Metabolisierung zeigt, ohne daß eine deutliche Zerklüftung des Kamacites nebenher geht, so unterlasse ich es vorläufig, eine absolute Entscheidung darüber zu treffen, ob das Kluftnetz eine primäre oder secundäre Entstehung hat.

Wenn nun die Verwandlungserscheinungen des Kamacites auf einer stattgefundenen Erhitzung des Meteoreisens beruhen, wie dies vorausgesetzt wurde, so mußte die künstliche Erhitzung eines Meteoreisens diese Annahme bestätigen oder umstoßen. Um das entscheidende Urteil zu beschaffen, habe ich die im Eingange charakterisierte Tolucaplatte einer Erhitzung ausgesetzt. Die zum Versuche genommene 5 *mm* dicke Platte wurde aufrecht in einen Graphittiegel gestellt und in Kohlenpulver eingebettet. Der Tiegel wurde dann in den im mineralogischen Institute der Universität auf Kosten der Kais. Akademie aufgestellten Wiesnegg-Ofen versetzt, für dessen Überlassung zu diesem Versuche ich dem Instituts-Vorstande Professor Becke meinen herzlichsten Dank abstatte. Der Tiegel mit dem Eisen wurde durch sieben Stunden bei einer etwa um 950° C. schwankenden Temperatur erhitzt. In der siebenten Stunde wurde ein Drittel der Gasflammen gelöscht, in der achten Stunde das zweite Drittel und in der neunten Stunde der Ofen kalt gestellt, so daß die Abkühlung verhältnismäßig rasch vor sich ging. Bei Entnahme des Tiegels aus dem Ofen wurde wahrgenommen, daß der Luftzug die oberste Schichte des Kohlenpulvers weggeweht hatte und das oberste Drittel der Eisenplatte mit der Flamme direkt in Berührung gekommen war. In diesem von der Flamme beleckten Teile der Platte hatte die Oberfläche eine dünne, etwas blau angelaufene Oxydkruste erhalten, mit schwachen Spuren einer zähflüssigen Erweichung. Auf dem durch das Kohlenpulver vor Oxydation geschützten Oberflächenteile hatten sich hauchartig dünne Eisensonnen gebildet, ähnlich aus Dunst niedergeschlagenen zarten Eisblumenrosetten. Die einzelnen Strahlen der Eisensonnen haben einen matten Glanz, laufen spießig aus und sind aus staubigfeinen Eisenkörnchen zusammengefügt. Beim ersten Ansatz eines Strahles sieht man die an der äußersten Oberflächenschichte neugebildeten Körnchen wie Punkte auf einer punktierten Linie aufgereiht, durch deren Mehrung und Zusammenschluß schließlich ein voller Strahl entsteht. Zu den an offenen Stellen im Untergrunde sichtbaren Kamacitbalken und Taenitstreifen haben die strahligen Eisenbüschel keine Orientierung. Die einzelnen Strahlen haben zum Kamacit übergreifende Lagerung

und übersetzen auch die von der Hitze verschont gebliebenen Taenitleistchen. Das Anschießen der Eisensonnen auf der Oberfläche ist dem Vorgange der Verdunstung von Flüssigkeiten an die Seite zu stellen. Diejenigen Eisenmolekel, die eine genügende lebendige Kraft, also eine genügende hohe Temperatur besitzen, überwinden die Oberflächenspannung und durchbrechen die Oberfläche der festen Eisennickellösung.

Zur weiteren Untersuchung der inneren Struktur der Platte wurde eine der verbrannten Oberflächen abgeschliffen und durch Halbierung des Stückes dann eine zweite Fläche aus der Mitte der Platte gewonnen, um mögliche Strukturverschiedenheiten zwischen den randlichen und zentralen Schichten des Eisens nicht zu übersehen. Die Ätzung beider Flächen hat nun ergeben, daß die erwartete Strukturveränderung des Kamacites in der Gesamtmasse der Versuchsplatte gleichmäßig eingetreten ist. Die Photogramme auf der beigegebenen Tafel, für deren Herstellung ich Kustos-Adjunkten Dr. Köchlin und M. Jaffé zu Dank verpflichtet bin, zeigen den Unterschied zwischen der Struktur des normalen (Bild 2) und des erhitzten Eisens (Bild 3). Die Verschiedenheit beider Ätzbilder besteht darin, daß sämtliche Kamacitindividuen des normalen Eisens im geglühten Eisen in eine kristalline Masse von körnigem Gefüge übergeführt worden sind. An Stelle des ehemaligen aus matt und hell schimmernden Stäben zusammengesetzten oktaedrischen Netzes erscheint jetzt auf der Ätzfläche des erhitzten Eisens ein wirres flimmeriges Wechselleuchten von Körnern. Aus dem Zustande vor der Erhitzung sind unverändert der Taenit, Schreibersit und von den Kamacitbalken nur deren äußerer Umriß in den neuen Zustand herübergerettet worden. Bei der Umlagerung haben in vielen Balken die Rhabditnädelchen eine Anordnung nach zwei Systemen erhalten, die zueinander senkrecht stehen, wovon im Normalkamacit nichts zu bemerken ist. Die Gestalt der Balken wird bei bestimmten Wendungen durch das Aufleuchten der Taenitstreifen markiert. Im Taenit ist auch der durch die Schraffierung angezeigte Schichtenbau erhalten geblieben. Die Schraffierung des Taenites ist so charakteristisch, daß man sie im erhitzten Eisen als mikroskopisches Unterscheidungsmerkmal von den

neuformierten Eisenkörnern benützen kann. Den Raum innerhalb der alten Balkenmarken füllt jetzt ein Körneraggregat. Die Form der Körner ist nicht gerundet, sie tragen vielmehr etwas von einem flockigen Zustand zur Schau und sehen aus wie Eisenfetzchen, die ein flimmerartiges Wechselleuchten hervorrufen, ähnlich wie die glitzernden Flöckchen einer Schneedecke. Die mikroskopische Beobachtung ergibt, daß in Wirklichkeit keine echten Eisenkörner, sondern Eisenfetzen vorliegen, die zackig ineinander greifen, als hätte die eine Eisenpartie sich in die andere eingefressen. Das Wechselleuchten besteht nicht nur zwischen benachbarten Eisenfetzen, sehr oft liegt eine flockig aufgelöste Eisenpartie mitten inne in einem einheitlich aufleuchtenden fetzig abgegrenzten Korn.

Es ist ein Bild, wie es ein Mineral zeigt, das in Umwandlung zu einem anderen Mineral begriffen ist und darin nur in wenigen Resten noch vorhanden ist. In keinem der Eisenfetzen ist irgend eine Spur von Schraffierung zu entdecken, wodurch die Anwesenheit von unverändertem Normalkamacit ausgeschlossen erscheint. Man muß vielmehr in dem Gemenge mit verschiedenem Aufleuchten das Vorhandensein von zwei Phasen des Nickeleisens vermuten, von denen jede sich im metastabilen Zustande befindet. Manche Umrisse der Eisenfetzen machen den Eindruck, als säßen sie an der Stelle des früher dagewesenen, durch die Absonderungsklüfte abgegrenzten Kamacitkornes. Die Klüfte sind jedoch vollständig verschwunden und eine Abgrenzung der Eisenfetzen nach den Kluftkonturen nicht auffindbar. Die groben zackigen Körner sind ihrerseits wieder aus allerfeinsten Körnchen zusammengesetzt. Das Vorhandensein einer massigen Struktur in den neuformierten Körnern ist nun insoweit wichtig, als wir in dieser Eigenschaft ein Merkmal für metabolitische Eisenkörner erhalten zum Unterschiede von den regulären durch Zwillingsbau ausgezeichneten Kamacitkörnern.

Jetzt muß ich noch einer Erscheinung gedenken, die uns einen Beitrag liefert zur Verschiedenheit der Ausbildung der Eisenkörner bei verschiedener Erhitzungstemperatur in demselben Eisenstück. Der zufällige Umstand, daß ein Ende der Eisenplatte, wie schon erwähnt wurde, von der Flamme direkt

umspült wurde, hat in dieser Randzone der Platte zwar keine sehr auffällige, aber immerhin sehr merkbare Verschiedenheit in der Körnung gegenüber der in der übrigen Eisenmasse bewirkt. Die charakteristische Flittrigkeit des Eisens tritt in dieser Zone sehr zurück, das grelle Wechselleuchten fehlt, es hat sich ein flauer, verwaschener Übergang zwischen den Eisenfetzen eingestellt und schließlich haben sich die Eisenflitter zu einem großen massigstruierten Korn mit einem nahezu einheitlichen Lichtreflexe entwickelt. Diese Erscheinung belehrt uns, daß durch die höhere Erhitzungstemperatur in der Randzone eine stärkere Beweglichkeit der Eisenmolekel eingetreten, wodurch die Korngröße gewachsen und das Vorhandensein nur einer Phase des Nickeleisens nahezu erreicht ist. Über die Konstitution der meteorischen Eisennickellegierungen ist uns Tatsächliches heute noch gar nichts und über die Art der vorhandenen Phasen im künstlichen Nickelstahl noch sehr wenig bekannt. Die kritischen Punkte des künstlichen Nickelstahles liegen niedriger als beim nickelfreien mit gleichem Kohlenstoffgehalt und um so niedriger, je mehr Nickel vorhanden ist. In Nickelstahl mit 7 Prozent Nickelgehalt, was beiläufig der Zusammensetzung des meteorischen Kamacites entspricht, liegt der kritische Punkt bei etwa 500° C. Der Kamacit eines Meteoreisens müßte demnach schon bei einer Erwärmung wenig über 500° C. umkristallisieren. Eine einfache Übertragung der Zustandsveränderungen im künstlichen Nickelstahl auf die Nickeleisenlegierungen in Meteoreisen scheint aber nicht zulässig zu sein, denn der nickelreichere Taenit hat bei 950° C. noch keine sichtbare Veränderung erlitten, was nach den Erfahrungen beim künstlichen Nickelstahl geschehen sollte. Ein direkter Vergleich der Umwandlungsverhältnisse im irdischen Nickelstahl mit jenen in den Eisennickellegierungen im Meteoreisen wird auch darum nicht in Anwendung kommen dürfen, da im künstlichen Nickelstahl metastabile Zustände der Legierungen vorliegen, während man es im Meteoreisen nach aller Wahrscheinlichkeit mit einem normalen Gleichgewichtszustand der Legierungen zu tun hat. Bei der durchwegs erfolgten Umlagerung des regulären Kamacites in eine feinkristalline körnige Masse liegt somit eine Paramorphose des

Kamacites vor. Um die beiden voneinander physikalisch verschiedenen Legierungen zu unterscheiden, will ich vorläufig, ohne Rücksicht auf deren Phasenzustand, den primären regulären Kamacit als Kamacit α und den körnigen sekundären Kamacit als Kamacit β bezeichnen. Einen charakteristischen Unterschied zeigen die beiden Kamacite in ihrem Verhalten gegen Salpetersäure. Der Kamacit β wird von der Säure viel stärker angegriffen als der Normalkamacit. Die Angaben aus früherer Zeit über die leichte und schwere Ätzbarkeit mancher Meteoreisen werden zum Teile hierin ihre Begründung finden.

Die beschriebenen körnig-flittrigen Strukturverhältnisse im künstlich erhitzten Tolucaeisen waren schon Reichenbach aus einigen Meteoreisen bekannt, worauf ich bei dieser Gelegenheit gestoßen bin. Er nannte die Erscheinung gleich den Franzosen »moirée métallique« oder zu deutsch »Metall-Mohr«. Die »moirierte« Veränderungszone in Braunau, deren Entstehung durch Erhitzung in der Atmosphäre schon damals niemand leugnete, veranlaßte ihn, alle Meteoreisen, die einen ähnlichen Mohr trugen, für solche Eisen zu halten, die von Menschen im Feuer behandelt wurden, wobei sein Mißtrauen hauptsächlich gegen die amerikanischen Eisen gekehrt war. Zu Reichenbach's Beschreibung des »Mohres« in Meteoreisen ist jedoch zu bemerken, daß er in seine Vorstellungen über die Entstehung des »Mohres« irrtümlich zwei Erscheinungen ineinander fließen läßt, die auseinander gehalten werden müssen. Zur Erklärung des »Mohres« wählt er zunächst das Eisen von Cocke County (Cosby's Creek) und sagt, man findet den »Mohr« überall dort, wo das Eisen in Körner abgesondert erscheint und da jedes Körnchen eine Schraffierung mit eigener Richtung zeigt, so entsteht ein verschiedener Glanz, je nachdem man das Licht darauf einfallen läßt. Dies Wechselleuchten gibt das »moirée métallique«.

Hier anschließend beschreibt er den »Mohr« anderer Eisen folgendermaßen:

»Man sieht den Eisenmohr ganz im kleinen beginnen, so äußerst klein, daß das Auge die einzelnen leuchtenden und matten Flimmer nicht zu unterscheiden vermag.«

Die Beschreibung läßt keinen Zweifel übrig, daß Reichenbach zwei wesentlich verschiedene Erscheinungen unter denselben Begriff stellt. Im Eisen von Cocke County läßt er den »Mohr« durch »eigen gerichtete Schraffierung« in Kamacitkörnern entstehen und in allen anderen Fällen spricht er nicht mehr von Körnern, sondern nur vom Auftreten »leuchtender und matter Flitter«. Reichenbach's »Mohr« in Cocke County ist nichts anderes als das Wechselleuchten von zufällig körnig geformten Kamacitbalken, die alle Eigenschaften des normalen primär entstandenen Kamacites besitzen. Ganz verschieden von dieser Erscheinung ist der »Mohr«, wenn er sich aus leuchtenden und matten Flimmern zusammensetzt. In diesem Falle beruht die Erscheinung auf der Transformation des Kamacites α in den körnig kristallinen Zustand des Kamacites β, wie es die künstliche Erhitzung des Tolucaeisens erwiesen hat. Den Ausdruck »Mohr« will ich in Ermanglung eines besseren Wortes als Bezeichnung für jenes körnige Strukturbild beibehalten, wie es in den ersten Stadien der Erhitzung im Kamacit mit Beibehaltung der Balkenform erscheint.

Je nachdem der Umwandlungsprozeß des Kamacites bald nach seinem Beginne oder erst in einem späten Stadium unterbrochen wurde, wird auch der entstehende »Mohr« ein verschiedenes Aussehen haben. Die allerersten Spuren des Mohres erscheinen auf den sonst glänzenden Kamacitflächen in Gestalt trüber, je nach dem Einfalle des Lichtes etwas hell und matt leuchtender Flecken. Viel deutlicher wird die Erscheinung, wenn beim Ätzen vertiefte Punkthaufen zum Vorschein kommen, die durch Auslösen feinster Eisenkörnchen entstanden sind und in ihrer dichten Ansammlung rauhe glanzlose, wie von Schimmel angefressene Partien im Kamacit erzeugen. Von diesem gröbsten Falle an gibt es Abstufungen bis zu den Flecken mit sammetartiger Trübe. Den Beginn der Metabolisierung mit mehr oder weniger deutlicher Mohrbildung zeigen folgende Meteoreisen, und zwar mit oder ohne gleichzeitige Körnung des Kamacites.

Mohrbildung mit gleichzeitiger Körnung der Balken kann man beobachten an: Alt-Biela, Arva, Ashville, Bairds Farm, Barranca blanca, Beaconsfield, Bendegó, Billings,

Bischtübe, Black Mountain, Bohumilitz, Brazos, Canon diablo, Casas grandes, Chulafinnee, Coahuila, Cocke County, Copiapo, Costilla Peak, Cranbourne, Dellys, Duel Hill, El Capitan Range, Emmetsburg, Franceville, Frankfort, Glorietta Mountain, Guilford County, Haiden Creek, Independence County, Ivanpah, Kenton County, Kokstad, Laurens County, Lexington Co., Lockport, Lonaconing, Madoc, Merceditas, Mooranoppin, Mount Hicks, Mount Joy, Mount Stirling, Mungindi, Nagy-Vázsony, Narraburra Creek, Nejed, Oroville, Oscuro Mountain, Pan de Azucar, Petropawlowsk, Putnam, Quesa, Red River, Reed City, Rhine Villa, Roebourne, Rosario, Saint Geneviéve County, San Angelo, São Julião, Schwetz, Smithville, Ssyromolotow, Staunton, Surprise Springs, Thunda, Toluca, Tonganoxie, Trenton, Victoria West, Welland, Whitfield County, Youndegin, Zacatecas.

Mohrbildung ohne Körnung der Balken zeigen: Bear Creek, Bella Roca, Caney Fork, Casey Co., Central Missouri, Crow Creek, Goldbach-Eisen, Grand Rapids, Hex River Mountain, Iron Creek, Jamestown, Jewell Hill, Lagrange, Lenarto, Lion River, Luis Lopez, Mart, Matatiela, Murphi, Nocoleche, Obernkirchen, Plymouth, Puquios, Scottsville, Seeläsgen, Smiths Mountain, Südöstliches Missouri, Thurlow.

Hat die Umwandlung schließlich den Kamacitbalken vollständig ergriffen, so sind alle seine bekannten Struktureigentümlichkeiten verschwunden und an seine Stelle ist jetzt ein Verband von fetzigen Körnern getreten, die auf der Ätzfläche ein lebhaftes Flimmern erzeugen. Zu diesen Eisen, in denen der Kamacit α mit Erhaltung der Balkenform in flimmerigen Kamacit β umgewandelt ist, gehören folgende Fälle: Apoala, Burlington, Canon diablo, Charcas, Chupaderos, Concepcion, Descubridora, Durango, Elbogen, Grienbrier Co., Jackson Co., La Caille, Losttown, Marshall County, Misteca (Oaxaca), Nebraska, Roda, Tajgha, Teposcolula, Toluca, Toubil, Tula.[1]

[1] Die hier aufgeführten Eisen mit flittriger Struktur sind mit Ausnahme von Nedagolla sämtlich Fundeisen aus alter Zeit. Fast die Hälfte der Eisen stammt aus Mexico und ist durchschnittlich seit mehr als 100 Jahren bekannt. Die übrigen Eisen stammen vorwiegend aus den Vereinigten Staaten und tragen entsprechend der jüngeren Kultur des Landes mehr jüngere Funddaten, was

Die stufigen Übergänge von Kamacit α in Kamacit β sind aber hiemit noch nicht geschlossen. Es folgt dann eine kleine Gruppe von Eisen, in denen der Kamacit unter Beibehaltung der Balkenform in größere Körner umgewandelt wurde (Ruff's Mountain, Seneca), die das Übergangsglied zu der großen Gruppe der körnigen und dichten Eisen bildet, unter denen wieder eine Reihe von Eisen zu unterscheiden ist, an denen die oktaedrische Struktur in mehr oder weniger gut erhaltenen Resten noch zu beobachten ist. Das letzte Glied der Umwandlungsreihe bilden jene körnigen und dichten Eisen, in denen auch der Taenit in den Umwandlungsprozeß einbezogen wurde und nicht mehr nachweislich ist, wobei die oktaedrische Struktur durch die Körnung vollständig verdrängt und auf-

---

aber nicht ausschließt, daß viele von ihnen sich schon seit frühen Zeiten in Menschenhänden befanden. Ich halte es nicht für einen Zufall, daß gerade diese alten Eisenfälle verhältnismäßig häufig eine flittrige Ausbildung der Balken zeigen. Da für die Alten das Feuer das einzige Mittel war, dem zähen Meteoreisenblock beizukommen, so wage ich es zuversichtlich auszusprechen, daß mindestens die große Mehrzahl, wenn nicht alle Eisen mit flittrig struierten Balken durch künstliche Erhitzung in diesen Zustand gebracht worden sind. Mehrere der Eisenproben wie Misteca, Teposcolula, La Caille, sehen dem von mir dargestellten Toluca-Metaboliten bis zur Verwechslung ähnlich. Einer Behandlung im Feuer sind diese Meteoreisen zweifellos ausgesetzt gewesen. Der Meteoreisenblock von Prambanan, aufbewahrt im Kiaton (Palast) des Susuhunan von Solo (Surakarta) in Mittel-Java, wird nach mündlichen Mitteilungen von Heger noch heutigen Tages, so oft Material zur Herstellung von sogenannten Kris (Dolchen) benötigt wird, angeheizt und weich gemacht. Zu ähnlichen Zwecken dürften besonders die alten mexicanischen Eisen im Feuer behandelt worden sein. Noch viel sicherer weist die Erscheinung auf die Feuerbehandlung eines Meteoriten hin, wo Stücke desselben Eisenfalls eine verschiedene Struktur besitzen. Eine Platte von Toluca (A. 57 des Kataloges Hofmuseum), Canon diablo (G. 5237) und eine Probe von Charcas zeigen Flitterstruktur, während die übrigen Stücke desselben Falles normalen Kamacit führen. In solchen Fällen muß eine künstliche Erhitzung der betreffenden Stücke unbedingt vorausgesetzt werden. Auch das Meteoreisen von Mukerop, von dessen flittriger Verschleierung der Balken ich überhaupt auf die Umwandlungserscheinungen in den Meteoreisen hingeführt worden bin, halte ich jetzt für ein Produkt künstlicher Erhitzung. Andere Proben von Mukeropblöcken, deren es über ein halbes Dutzend gibt, sind nicht schleierig getrübt und auch Bethanien und Löwenfluß, die zu Mukerop gezählt werden, zeigen davon keine Spur. Es scheint also nur der in das Hofmuseum gelangte Block im Feuer gewesen zu sein. Dadurch erklärt sich auch das einseitige Auftreten der

gezehrt wurde. Die abgestufte äußerliche Verschiedenheit in der Umwandlung des Kamacites in den kristallinisch körnigen Kamacit β ist ein Wiederspiel zwischen der bei der Erhitzung erreichten Temperaturhöhe und der Dauer der Abkühlungszeit. Hiemit soll aber zugegeben werden, daß insbesondere nickelreichere Eisen schon bei ihrer Erstbildung eine mäßige Struktur erhalten können.

Folgende Sätze, die ich der Siderologie v. Jüptner's entnehme und von Sauveur für die Strukturänderungen bei thermischer Behandlung von Kohlenstoffstahl aufgestellt wurden, werden die tatsächlichen Verhältnisse in den meteorischen Nickelstahlen einsichtiger machen, für die ebenso wie für den künstlichen Nickelstahl bisher ähnliche Feststellungen fehlen.

Strukturveränderung, indem der Block nur auf einer Seite erhitzt worden ist. Daß flittrige Struktur auch aus dem Weltraum mitgebracht wird, beweist uns das beim Niederfall geborgene Eisen von Nedagolla. Von einer nachträglich künstlichen Erhitzung des Eisens wird in keinem Berichte etwas erwähnt und wir müssen seine flittrige Struktur als eine Folge kosmischer Erhitzung betrachten. Ein Unterschied zwischen Nedagolla und sämtlichen anderen flittrigen Eisen besteht jedoch darin, daß in Nedagolla die Kamacitbalken bis auf wenige Balkenkonturen aufgezehrt sind und durchwegs massige Struktur vorhanden ist, während in sämtlichen übrigen Eisen der oktaedrische Bau unberührt erhalten und nur der Kamacit umgewandelt ist. Nach Aufdeckung dieser Tatsachen wird es schwierig zu entscheiden, welche der flittrigen Eisen allenfalls durch künstliche oder kosmische Erhitzung metabolisiert wurden. Ich möchte die Ansicht vertreten, daß die Flittrigkeit der Balken, wenn sie ähnlich jenem im künstlichen Toluca-Metabolit ist, ihre Entstehung einer Erhitzung zwischen 600 bis 1000° C. und rascher Abkühlung verdankt. Höhere Temperatur sollte zu einer stabileren höheren Kristallisationsphase führen. Diesen Bedingungen scheint die kosmische Erhitzung zu entsprechen, die nach den Schmelzerscheinungen bei den Meteorsteinen zwischen 1100 bis 1400° C. anzunehmen ist. Beim Verschwinden der Balkenstruktur und der Taenitbänder wird man flittrige Eisen mit massiger Struktur als kosmisch veränderte Eisen ansehen müssen. Den Eisen mit geflitterten Balken bei Erhaltung der oktaedrischen Struktur und des Taenits wird man ein gerechtfertigtes Mißtrauen entgegenbringen müssen. Solange uns die diagnostischen Zeichen für eine absolute Entscheidung fehlen, ob flittrige Balken durch künstliche oder kosmische Erhitzung zu stande kamen, empfiehlt es sich, alle diese Eisen, bei denen die oktaedrische Struktur erhalten und nur der Kamacit in Kamacit β mit flittriger Form umgewandelt ist, in eine Gruppe zu vereinigen und sie auf Grund aller vorhandenen Umstände als künstliche Metabolite zu betrachten.

Saveur hat nun bei verschiedener thermischer Behandlung am Kohlenstoffstahl folgende Strukturveränderungen gefunden:

Wird ein Stück Stahl auf die Temperatur ac_1 (kritischer Punkt beim Erwärmen) erhitzt, so verschwindet die ursprünglich vorhandene Kristallisation und verwandelt sich in die feinkörnigste, die das Metall seiner chemischen Zusammenstellung nach anzunehmen im stande ist.

Läßt man einen auf ac_1 erhitzten Stahl langsam abkühlen, so bleibt die bei dieser Temperatur gewonnene feinkörnige, scheinbar amorphe Struktur bestehen.

Wird Stahl über die Temperatur ac_1 erhitzt und dann langsam und ungestört erkalten gelassen, so wird er wieder deutlich kristallinisch und die Größe der Metallkörner wächst so lange, bis die Temperatur ar_1 (kritischer Punkt bei der Abkühlung) erreicht ist.

Je höher die Temperatur, von welcher der Stahl ungestört abkühlen kann, oberhalb ac_1 liegt, desto gröber wird das Korn.

Je langsamer die Abkühlung von einer oberhalb ar_1 liegenden Temperatur erfolgt, desto gröber wird das Korn.

Die vorstehenden Darlegungen enthalten eine Gutheißung meines Vorschlages, die umkristallisierten Meteoreisen als »Gruppe der Metabolite« zu bezeichnen und geben uns weiter die Richtung an, in der sich das künftige Studium der Meteoreisen zu bewegen hat. Mit der fortschreitenden Kenntnis der physikalischen Zustände der künstlichen Eisennickellegierungen werden sich auch unsere Einblicke in die verschiedenen Zustände und Ausbildungsformen der Eisenmetabolite schärfen und mehren.

Tafelerklärung.

1. Geätzte normale Tolucaeisenplatte, die körnige Zerklüftung der Kamacitbalken zeigend. Deutlich im hellen Korne inmitten des Bildes. Vergr. 4×.

2. Dieselbe geätzte Tolucaeisenplatte in natürlicher Größe, vor der Erhitzung.

3. Geätzte Fläche einer aus dem vorstehenden Tolucastücke parallel geschnittenen Platte, nach der Erhitzung auf 950° C. Das Eisen ist in »künstlichen Metabolit« umgewandelt. Der normale Kamacit ist unter Erhaltung der Balkenkonturen in körnig-flimmerigen Kamacit β umkristallisiert (metabolisiert).